



DEUTSCHES
PATENTAMT

②1 Aktenzeichen: 195 13 779.5
②2 Anmeldetag: 11. 4. 95
④3 Offenlegungstag: 17. 10. 96

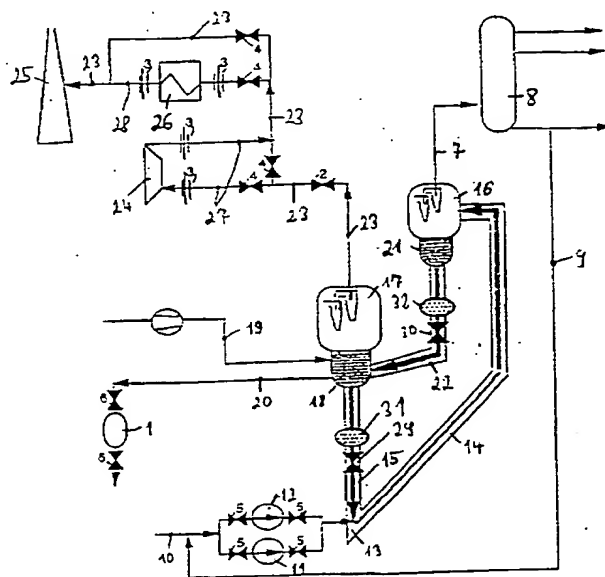
DE 195 13 779 A 1

⑦1 Anmelder:
Zimmermann & Jansen GmbH, 52355 Düren, DE
⑦4 Vertreter:
Meissner, Bolte & Partner, 80538 München

⑦2 Erfinder:
Zosel, Dietrich, Dipl.-Ing., 52351 Düren, DE

⑤4 FCC (FLUID-CATALYTIC-CRACKING) -Anlage

⑤7 FCC(Fluid-Catalytic-Cracking)-Anlage mit einem Reaktor (16), einem mit diesem über eine Schüttgutleitung (22) verbundenen Regenerator (17) sowie einem im Verhältnis zum Regenerator tiefergelegenen Bereich (13) für die Zufuhr von zu crackenden Kohlenwasserstoffen (C_nH_m), wobei dieser Bereich über eine C_nH_m /Katalysator-Steigleitung (14) mit dem Reaktor (16) einerseits und über ein Absperrventil umfassendes Fallrohr (15) mit dem Bodenauslaß des Regenerators (17) zur Zufuhr von schüttgutartiger Katalysatormasse aus dem Regenerator (17) andererseits in Verbindung steht. Das im Fallrohr (15) angeordnete Absperrventil ist ein elektrostatisches Ventil (31), welches wenigstens zwei im Abstand voneinander angeordnete Elektroden (33) zur Erzeugung eines elektrischen Feldes im Strömungsweg des Schüttguts bzw. der Katalysatormasse aufweist, derart, daß der Schüttgutstrom durch Ausbildung eines mehr oder weniger starken elektrischen Feldes zwischen den beiden Elektroden (33) an diesen vorbei entsprechend mehr oder weniger stark drosselbar und gegebenenfalls vollständig absperrbar ist, wobei zur Anwendung bei höheren Temperaturen die Elektroden (33) aus einem Material hergestellt sind, deren elektrischer Widerstand auch bei höheren Temperaturen, insbesondere bis zu 700° bis 900°C, stets kleiner ist als der elektrische Widerstand des Schüttguts bzw. der Katalysatormasse.



DE 195 13 779 A 1

Beschreibung

Die Erfindung betrifft eine FCC (FLUID-CATALYTIC-CRACKING)-Anlage gemäß dem Oberbegriff des Patentanspruches 1.

FCC-Anlagen sind durch eine kontinuierliche Regenerierung des Katalysators durch Anwendung der sog. Wirbelschicht- oder Fließbetttechnik gekennzeichnet. Die erste Anlage nach dem FCC-Verfahren ging 1942 in Betrieb. Heute nehmen Fließbettverfahren die beherrschende Stellung in der Reihe der katalytischen Crackverfahren ein. Außer dem Verfahren der Firma Esso, das heute unter dem Namen "Flexicracking" etwa 25% der Kapazität der westlichen Welt repräsentiert, haben Verfahren anderer Firmen, wie UOP, Kellogg, Texaco u. a. eine mehr oder weniger große Bedeutung erlangt. Bei all diesen Verfahren wird ein Katalysator in Form von Mikrokügelchen (mittlere Teilchengröße: 50—70 μ) angewendet. Zur Verwirbelung des Katalysators mit Kohlenwasserstoffdämpfen bzw. Luft geht dieser in einen flüssigkeitsähnlichen Zustand über, so daß ein Transport vom Reaktor zum Regenerator und zurück möglich wird. Beim vorgenannten Flexicracking-Verfahren der Esso Research and Engineering Co. sind Reaktor und Regenerator in gleicher Höhe angeordnet und durch U-förmige Katalysatorrohre miteinander verbunden. Das vorgewärmte zu crackende Material wird in eine Katalysator-Steigleitung (riser) des Reaktors eingespeist, wo sofort eine Verdampfung und Cracking der Kohlenwasserstoffkomponenten beginnt. Die dafür erforderliche Wärmeenergie wird von der heißen Katalysatormasse geliefert. Der Strom der Kohlenwasserstoffdämpfe lockert die Katalysatormasse auf und führt im Reaktor zur Ausbildung eines Fließbettes. Da die Dichte der Katalysatormasse im Fallrohr des Regenerators größer ist, fließt von dort ständig Katalysator nach. Die Crackprodukte verlassen den Reaktor über Zykclone, die mitgerissenen Katalysatorstaub zurückhalten. Der verkockte Katalysator bewegt sich an der Reaktorwand nach unten und sammelt sich am Boden des Reaktors, wo anhaftende Kohlenwasserstoffreste mit Wasserdampf ausgestrippt werden. Der Transport in den Regenerator erfolgt durch Einblasen von sog. "Hilfsluft" in die Steigleitung. Die zum weitgehenden Abbrennen des Kokes und zur Ausbildung des Fließbettes erforderliche "Hauptluft" wird am Boden des Regenerators eingeblasen. Die Reaktortemperaturen liegen im allgemeinen bei 500—525°C; im Regenerator werden Temperaturen von 580—610°C erreicht. Im Reaktor herrscht ein Überdruck von etwa 0,7 bar. Der Regeneratordruck liegt ungefähr bei 1,0 bar. Als Ausgangsmaterial kommen außer Gasöl auch schwere Vakuumdestillate und entasphaltierte Rückstände in Betracht.

Bei einer anderen Ausführungsform einer FCC-Anlage ist der Reaktor über dem Regenerator angeordnet. Derartige Anlagen wurden erstmals von der Firma Universal Oil Products Co. (UOP) 1947 in Betrieb genommen. Durch die Anordnung des Reaktors über dem Regenerator ergeben sich höhere Differenzdrücke zwischen Regenerator und Reaktor (1—2 bar), so daß in die Katalysatorrohre Regelarmaturen, insbesondere mechanische Absperrventile, eingebaut werden mußten. Das Katalysatorsteigrohr ist relativ lang, so daß es in viel stärkerem Maße als bei dem Verfahren der Firma Esso für die Crackreaktion ausgenutzt werden kann. Wie bereits dargelegt, wird die für den Crackprozeß erforderliche Wärmeenergie von der heißen Katalysatormasse geliefert. Dementsprechend erfolgt die Tem-

peraturregelung im Reaktor durch die Zufuhr von heißer Katalysatormasse. Dies bedeutet, daß die Temperaturregelung im Reaktor desto präziser erfolgen kann, je genauer die Zufuhr von heißer Reaktormasse zum Steigrohr einstellbar ist. Da die herkömmlichen, mechanisch arbeitenden Absperrventile, die die Zufuhr der Katalysatormasse regeln, durch lange Ansprechzeiten zu Ungenauigkeiten führen, wäre die Verwendung von präzise arbeitenden elektrostatischen Ventilen von großem Vorteil.

Ein Vorbild für ein elektrostatisches Ventil ist in der EP-A-0 260 995 angegeben und wird allgemein zur Durchsatzregelung von teilchenartigem Material verwendet. Das dort beschriebene elektrostatische Ventil umfaßt zwei im Abstand von- und übereinander angeordnete Elektroden, die jeweils in Form eines Drahtgeflechtes oder Drahtgitters ausgebildet sind, wobei die in Strömungsrichtung untere Elektrode engermaschiger ist als die obere Elektrode.

Es hat sich jedoch gezeigt, daß sich ein derartiges elektrostatisches Ventil in einer FCC-Anlage nicht ohne weiteres verwenden läßt, da der elektrische Widerstand des Katalysatormaterials bei zunehmender Temperatur so weit abnimmt, daß bei den beim FCC-Verfahren herrschenden Temperaturen ein Kurzschluß zwischen den Elektroden auftritt mit der Folge, daß das Ventil unbrauchbar bzw. inaktiv wird. Beispielsweise beträgt der Widerstand des Katalysatormaterials, das als Hauptbestandteil Aluminiumoxyd enthält, bei etwa 20°C ca. 200 $M\Omega$; nach Verlassen des Regenerators bei einer Temperatur von etwa 750°C ist der Widerstand des Katalysatormaterials nur noch 300 $k\Omega$.

Dementsprechend ist es Aufgabe der vorliegenden Erfindung, ein elektrostatisches Ventil bereitzustellen, das auch bei hohen Temperaturen noch voll funktionsfähig bleibt, so daß sich die damit betriebene FCC-Anlage durch einen höheren Wirkungsgrad auszeichnet, und zwar bedingt durch eine präzisere Durchflußmengenregelung der Katalysatormasse und damit präzisere Temperaturregelung im Reaktor unter gleichzeitiger Vermeidung von Kohlenwasserstoffverlusten durch das Fallrohr hindurch in den Regenerator.

Diese Aufgabe wird erfindungsgemäß durch die kennzeichnenden Merkmale des Patentanspruches 1 gelöst.

Es hat sich gezeigt, daß durch das erfindungsgemäß konzipierte elektrostatische Ventil auch bei höheren Betriebstemperaturen von bis zu 900°C eine höchst präzise Regelung der durch das Fallrohr hindurchströmenden heißen Katalysatormasse möglich und auch sichergestellt ist. Insbesondere kann durch das erfindungsgemäß vorgesehene elektrostatische Ventil ein gleichmäßiger Durchsatz von Katalysatormasse durch das Fallrohr erreicht werden. Es erfolgt eine reine Mengenregelung ohne Beeinflussung des Drucks im Regenerator, wobei der Durchsatz linear abhängig ist von dem elektrischen Feld zwischen den Plus- und Minuselektroden des elektrostatischen Ventils. Durch eine vorzugsweise individuelle und/oder gruppenweise Ansteuerung der einzelnen Elektroden läßt sich der Strömungsquerschnitt auf schnelle und einfache Weise einstellen, so daß beispielsweise Schüttkegel vermieden werden und die Strömung der Katalysatormasse über den Querschnitt gleichmäßig dicht verteilt ist. Vorzugsweise ist in jeder Betriebsstellung ein elektrisches Feld zwischen den Plus- und Minuselektroden des elektrostatischen Schüttgutventils aufgebaut, so daß die Schüttung auch bei "Offenstellung" des Ventils durch dieses "gebremst"

ist mit der Folge, daß die Schüttung oberhalb des Ventils relativ dicht ist, was zu einer erheblich reduzierten Gas- bzw. Dampfdurchlässigkeit desselben führt. Dieser Effekt kann zusätzlich durch die pulsierenden Maßnahmen nach Anspruch 11 oder 12 erhöht werden. Auf diese Weise werden Kohlenwasserstoff-Verluste durch das Fallrohr hindurch in den Regenerator hinein erheblich reduziert bis ganz vermieden. Der Wirkungsgrad läßt sich dadurch ganz erheblich erhöhen. Gleichzeitig ist eine präzisere Regelung der Reaktortemperatur möglich.

Durch die erwähnte Pulsation gemäß Anspruch 11 bzw. 12 erhält man als oberhalb der Elektroden des elektrostatischen Ventils eine dichtgepackte Schüttgutsäule, die eine Art Gas- bzw. Dampfsperre darstellt und den Regenerator vor aufsteigenden Kohlenwasserstoffdämpfen schützt. Durch die Pulsation werden auch vom Regenerator stammende Gase, wie z. B. O_2 , in den Regenerator zurückgepumpt, so daß sie die Elektrode nicht erreichen. Solche Gase würden im Bereich der Elektroden ggf. ionisiert werden und zu Kurzschlüssen zwischen den Elektroden führen.

Durch die Verwendung elektrostatischer Ventile in der beanspruchten Anordnung sind mechanische Absperrventile nicht notwendig erforderlich. Dennoch sind solche mechanischen Absperrventile in der Regel zusätzlich vorgesehen entsprechend Anspruch 3, und zwar vornehmlich als Sicherungsventile bei einem Stillstand des Betriebs oder bei einer längeren Betriebsunterbrechung.

Um den Verfahrensablauf noch weiter zu präzisieren, ist vorzugsweise auch in der Schüttgutleitung zwischen Reaktor und Regenerator ein elektrostatisches Schüttgutventil der genannten Art angeordnet. Ein mechanisches Absperrventil kann dem elektrostatischen Ventil nachgeordnet sein. Dieses dient ebenso wie das bereits erwähnte mechanische Absperrventil im Fallrohr auch noch zur Grobeinstellung der Durchsatzöffnung. Die Regelung des Durchsatzes erfolgt jedoch ausschließlich durch die elektrostatischen Ventile.

Weitere vorteilhafte Details der erfindungsgemäßen Anlage sind in den Ansprüchen 4 bis 10 beschrieben, die sich u. a. auf die Konstruktion des elektrostatischen Ventils bzw. dessen Elektroden beziehen. Natürlich sind die elektrostatischen Ventile nur bei einem Schüttgut aus im wesentlichen dielektrischen Teilchen bzw. Partikeln wirksam.

Auch sei noch darauf hingewiesen, daß die herkömmlichen mechanischen Absperrventile in Absperrstellung nicht immer 100%ig dicht sind. Mit Hilfe der gemäß Anspruch 3 den mechanischen Absperrventilen vorgeordneten elektrostatischen Ventilen läßt sich jedoch jegliche Schüttgut-Rieselung in Schließ- bzw. Absperrstellung vermeiden. Aufgrund dieses Vorteils eignet sich das elektrostatische Ventil auch in einer Schüttgutleitung mit einem Gas-Absperrventil. Das elektrostatische Ventil wird dann in Schüttgut-Strömungsrichtung vor dem Gas-Absperrventil angeordnet. Da durch das elektrostatische Ventil jegliches Nachrieseln vermieden werden kann, werden die Dichtungen der nachgeordneten Gas-Absperrventile geschont. Auch läßt sich das jeweilige Schüttgutrohr im Vergleich zum Stand der Technik dank des 100%ig verschließbaren elektrostatischen Ventils mit größerem Durchmesser bzw. Querschnitt bauen.

Die Spannung, die über die Plus- und Minuselektroden des elektrostatischen Ventils aufgebaut werden muß, um eine 100%ige Absperrung zu erreichen, be-

trägt in Abhängigkeit vom Durchmesser der Schüttgutleitung und/oder des zu beherrschenden Materials zwischen etwa 2 kV und 30 kV. Natürlich wird zwischen den Plus- und Minuselektroden des elektrostatischen Ventils eine Gleichspannung aufgebaut.

Die Erfindung wird nachstehend anhand von mehreren Ausführungsbeispielen näher beschrieben. Die beigefügten Zeichnungen zeigen in:

Fig. 1 eine schematische Draufsicht auf einen Rahmen mit gitterartig angeordneten Elektroden eines elektrostatischen Ventils,

Fig. 2 einen schematischen Querschnitt des elektrostatischen Ventils längs der Linie II-II von Fig. 1,

Fig. 3 einen schematischen Querschnitt des elektrostatischen Ventils längs der Linie III-III von Fig. 1,

Fig. 4 eine schematische Draufsicht auf eine weitere Ausführungsform des elektrostatischen Ventils,

Fig. 5 einen schematischen Querschnitt des elektrostatischen Ventils entlang der Linie V-V von Fig. 4,

Fig. 6 eine vereinfachte perspektivische Ansicht einer weiteren Ausführungsform des elektrostatischen Ventils in Kombination mit einem mechanischen Absperrventil und

Fig. 7 eine FCC-Anlage in schematischer Darstellung mit elektrostatischen Ventilen.

Die FCC-Anlage gemäß Fig. 7 umfaßt eine Leitung 10, durch die hindurch das Ausgangsmaterial, insbesondere langkettige Kohlenwasserstoffe C_nH_m zur Durchführung eines katalytischen Crackens zugeführt werden. Die Zufuhr erfolgt mit Unterstützung von parallel angeordneten Förderpumpen 11 und 12, denen jeweils ein Keil-im-Keil-Schieber 5 vor- und nachgeordnet sind. Die Zufuhr des Ausgangsmaterials erfolgt in einem Bereich 13, an den sich einerseits eine Steigleitung 14 anschließt und in den andererseits ein Fallrohr 15 mündet. Das obere Ende der Steigleitung 14 mündet in einen Reaktor 16, welcher bei der dargestellten Ausführungsform oberhalb eines Regenerators 17 angeordnet ist. Das Fallrohr 15 ist mit einem bodenseitig angeordneten Sammelraum 18 des Regenerators 17 verbunden, wobei der Sammelraum 18 zur Aufnahme einer schüttgutartigen Katalysatormasse dient. In diesen Sammelraum mündet noch eine Druckluftleitung 19, durch die hindurch Druckluft in den Sammelraum 18 unter Ausbildung eines Katalysator-Fließbettes eingeblasen wird. Über eine Leitung 20 kann aus dem Sammelraum 18 Katalysatormasse entnommen werden. Diese wird in einem Zwischenbehälter 1 bis zur weiteren Verwendung gehalten, wobei vor und hinter dem Zwischenbehälter 1 jeweils ein Absperrventil 6 angeordnet ist.

Auch der Reaktor 16 weist einen bodenseitigen Katalysatorsammelraum 21 auf. Die Sammelräume 18 und 21 von Regenerator 17 und Reaktor 16 sind über eine Schüttgutleitung 22 miteinander verbunden.

An der Oberseite des Reaktors 16 schließt eine Leitung 7 zu einer Fraktionierkolonne 8 an, in welcher die im Reaktor aufgespaltenen Kohlenwasserstoffe in Gas und Benzin, Gasöl, sowie relativ langkettige Sumpfpunkte getrennt werden. Die langkettigen Sumpfpunkte werden über eine Leitung 9 dem Crackverfahren erneut zugeführt, und zwar durch Einleitung in die Zufuhrleitung 10.

Im Regenerator 17 erfolgt die Regenerierung der zum Cracken verwendeten Katalysatormasse. Insbesondere werden im Regenerator die Katalysatorpartikel von Koks befreit, und zwar durch Abbrennen der an der Oberfläche der Katalysatorpartikel ausgebildeten Koksschicht. Die zum Abbrennen des Koks erforder-

liche Luft wird am Boden des Regenerators eingeblasen und zwar durch die bereits erwähnte Druckluftleitung 19. Die Rauchgase, die den Regenerator über die Leitung 23 verlassen, sollten einen Sauerstoffgehalt zwischen 0,5 und 1,0 Vol% haben. Bei geringeren Sauerstoffkonzentrationen ist der Abbrenneffekt ungenügend, was sich durch einen fortschreitenden Aktivitätsverlust des Katalysators bemerkbar macht. Höhere Sauerstoffgehalte können zu einem Nachbrennen des in den Rauchgasen enthaltenen Kohlenmonoxyds führen. Dadurch kommt es zu örtlichen Überhitzungen und Schädigungen von Katalysator und Anlageteilen. Um das zu verhindern, können in das Oberteil des Regenerators zur Kühlung Wasser oder Wasserdampf eingespeist werden. Die Temperatur im Regenerator kann bis auf etwa 750°C steigen.

Die Rauchgase 23 können bei Bedarf auf ihrem Weg zum Kamin 25 über eine Entspannungsturbine 24 und/oder durch einen Boiler 26 geleitet werden, wobei die Entspannungsturbine 24 sowie der Boiler 26 jeweils in einer Bypass-Leitung 27 bzw. 28 angeordnet sind. Sowohl der Entspannungsturbine 24 als auch dem Boiler 26 sind jeweils ein Brillenschieber 3 vor- und nachgeordnet. Des weiteren sind zur gewünschten Umleitung der Rauchgase sowohl in der Rauchgasleitung 23 als auch in den Bypass-Leitungen 27, 28 Klappenventile 4 angeordnet, und zwar entsprechend der Anordnung in Fig. 7. Unmittelbar hinter dem Regenerator befindet sich in der Rauchgasleitung 23 auch noch ein Absperrschieber 2, mit dem die Rauchgasleitung 23 mehr oder weniger stark geöffnet bzw. vollständig abgesperrt werden kann.

Sowohl im Fallrohr 15 als auch in der Schüttgutleitung 22 befindet sich jeweils ein sog. FCC-Absperrschieber 29 bzw. 30 herkömmlicher Art (siehe Prospekt "Slide and Plug Valves for Industrial fluid-solids Units" Nr. 309, 1/87 der Zimmermann & Jansen GmbH, Düren). Diesen Absperrschiebern ist jeweils ein elektrostatisches Ventil 31 bzw. 32 vorgeordnet. Die FCC-Absperrschieber 29, 30 dienen vornehmlich nur als Sicherheitsvorrichtung, während mittels der elektrostatischen Ventile 31, 32 die Katalysatordurchflußmenge und Reaktortemperaturregelung erfolgt. Dementsprechend wird bei geöffnetem FCC-Absperrschieber 29 der Durchfluß von regeneriertem Katalysator durch das Fallrohr 15 hindurch durch das elektrostatische Ventil 31 geregelt, wobei dieses Ventil eine lineare Mengenregelung erlaubt. Dabei wird das elektrostatische Ventil 31 so angesteuert, daß eine ausreichend dichte Packung des Schüttguts bzw. der Katalysatormasse oberhalb desselben erhalten wird, welche die Gasdurchlässigkeit bzw. die Durchlässigkeit für aus dem Bereich 13 aufsteigende Kohlenwasserstoffdämpfe auf ein Minimum reduziert oder sogar vollständig unterdrückt. Damit werden zum einen Verluste des zu crackenden Materials sowie eine negative Beeinflussung des Regenerierungsprozesses durch in den Regenerator 17 eindringende Kohlenwasserstoffdämpfe vermieden. Dabei ist zu bedenken, daß der Gasdruck im Bereich 13 größer ist als der Druck im Generator. In der Regel herrscht im Bereich 13 ein Druck von ca. 1,2 bar auf, wohingegen im Regenerator 17 der Druck ca. 1,0 bar beträgt. Aus diesem Grunde ist es von größter Wichtigkeit, eine Gassperre zwischen dem unteren Bereich 13 des Fallrohres 15 und dem Regenerator 17 vorzusehen. Diese wird in eleganter Weise durch das elektrostatische Ventil 31 erhalten.

In gleicher Weise wird das in der Schüttgutleitung 20 angeordnete elektrostatische Ventil 32 stets so angesteuert, daß die vorbeschriebene Gassperre auch zwi-

schen dem Sammelraum 18 des Regenerators 17 und dem Sammelraum 21 des Reaktors 16 erhalten wird. Insofern liegen beim elektrostatischen Ventil 32 die Verhältnisse ganz ähnlich wie beim elektrostatischen Ventil 31 im Fallrohr 15.

Durch das elektrostatische Ventil 32 in der Schüttgutleitung 22 läßt sich der Gesamtprozeß noch präziser regeln, vor allem die Reinigung bzw. Regenerierung der Katalysatormasse im Sammelraum 18 des Regenerators 17 optimieren dahingehend, daß dort ein im wesentlichen konstantes Katalysatorfließbett ausgebildet wird. Auf diese Weise sind zum einen eine vollständige Reinigung des Katalysators und zum anderen ein ausreichender Vorrat gereinigten Katalysators gewährleistet.

Im übrigen ist der Crackprozeß innerhalb der Steigleitung 14 und des Reaktors 16 bekannt, wobei in den Bereich 13 eingeleitete Kohlenwasserstoffe die durch das Fallrohr 15 zugeführten Katalysatorpartikel durch das Steigrohr 14 nach oben zum Reaktor 16 mitnehmen. Die zur Verdampfung und Cracking der Kohlenwasserstoffkomponenten erforderliche Wärmeenergie wird von der heißen Katalysatormasse geliefert, die am Ausgang des Regenerators 17 bzw. Regeneratorsammelraums 18 eine Temperatur von bis zu 750°C aufweisen kann. Da das zu crackende Ausgangsmaterial in dem Bereich 13 mit einer Temperatur von nur etwa 200 bis 250°C eingeleitet wird, entstehen beim Zusammentreffen mit der heißen Katalysatormasse Kohlenwasserstoffdämpfe, d. h. Gasblasen von denen zumindest ein Teil im Fallrohr 15 nach oben aufsteigt. Durch das elektrostatische Ventil 31 werden die Gasblasen jedoch daran gehindert, den Sammelraum 18 des Regenerators 17 zu erreichen. Die im Bereich 13 entstehenden Kohlenwasserstoffdämpfe gehen also auf diese Weise dem Crackprozeß nicht verloren. Das Ausgangsmaterial kann z. B. Rohöl oder Rohbenzin sein. Außerdem wird die Schließfunktion des Ventils 31 durch aufsteigende Kohlenwasserstoffdämpfe nicht beeinträchtigt.

In Fig. 1 ist eine schematische Draufsicht auf eine erste Ausführungsform des elektrostatischen Ventils 31 bzw. 32 dargestellt. Das elektrostatische Ventil 31 bzw. 32 umfaßt dementsprechend einen Rahmen 34 und eine Vielzahl von Plattenelektroden 33, die innerhalb des Rahmens 34 in einem Abstand von ca. 10 mm voneinander und parallel zueinander angeordnet sind, derart, daß eine Art Stegrost entsteht. Die erwähnten Elektroden sind abwechselnd an den Pluspol 35 und Minuspol 36 einer nicht dargestellten Spannungsquelle angeschlossen.

Der Rahmen 34 ist als quadratische Platte mit kreisförmiger Öffnung ausgebildet, innerhalb der sich die Elektroden 33 erstrecken. Er besteht aus elektrisch isolierendem und hitzebeständigem Material, beispielsweise Keramik. Der Durchmesser der kreisförmigen Öffnung entspricht etwa dem Innendurchmesser des Fallrohres 15 bzw. der Schüttgutleitung 22, so daß sich die Elektroden 33 über den Strömungsquerschnitt des Schüttguts bzw. der Katalysatormasse erstrecken.

Über dem Rahmen 34 ist eine Isolierplatte 15 und unterhalb des Rahmens 34 ein Trichterelement 15' angeordnet, welches ebenfalls aus einem elektrisch isolierendem Material, z. B. Keramik besteht. An die Platte 15 einerseits und an das Trichterelement 15' andererseits schließt sich das Fallrohr 15 oder die Leitung 22 nach oben bzw. unten an.

Die zwischen benachbarten Elektroden 33 erzeugten elektrischen Feldlinien verlaufen bei dieser Ausführungsform des elektrostatischen Ventils im wesentli-

chen senkrecht zur Strömungsrichtung der Katalysatormasse.

Wie aus Fig. 3 ersichtlich ist, sind die Elektroden 33 jeweils Rechteckplatten mit einem sich in Strömungsrichtung erstreckenden trapezförmigen Fortsatz. Alternativ können die Elektroden insgesamt als trapez-, kreissegment-, dreieck- oder auch nur rechteckförmige Platten ausgebildet sein. Durch die beschriebene Form der Elektroden 33 wird ein hohes mechanisches Widerstandsmoment derselben in Strömungsrichtung erreicht, so daß die Elektroden unter dem großen Gewicht der Katalysatormassen in ihrer Form stabil bleiben und sich nicht durchbiegen.

Die stirnseitigen Enden der Elektroden 33 ruhen in komplementär ausgebildeten Ausnehmungen 37 des Rahmens 34, derart, daß an jedem Ende ein Spalt zwischen der Elektrode 33 und der zugewandten Seite der zugeordneten Ausnehmung 37 des Rahmens 34 gebildet wird. Diese Dehnungsspalte verhindern, daß die Elektroden 33, die sich beim Kontakt mit der heißen Katalysatormasse ausdehnen, radial gegen den Rahmen 34 gedrückt werden und diesen dadurch beschädigen bzw. selbst dadurch beschädigt werden. Vor allem soll durch die Dehnungsspalte auch eine temperaturbedingte Durchbiegung der Elektroden in Querschnittsebene, d. h. quer zur Strömungsrichtung vermieden werden. Eine solche Durchbiegung würde zu einem inhomogenen elektrischen Feld über den Strömungsquerschnitt führen. Entsprechend inhomogen wäre dann der Durchfluß durch das elektrostatische Ventil.

Da die Elektroden 33 innerhalb des Rahmens 34 voneinander isoliert sind, können sie individuell oder gruppenweise angesteuert werden. Der Einfachheit halber sind in dieser und in den folgenden Ausführungsformen die Elektroden 33 nicht individuell oder gruppenweise ansteuerbar dargestellt, sondern sämtliche alternierend mit dem Pluspol 35 bzw. mit dem Minuspol 36 einer Gleichspannungsquelle verbunden, so daß jeweils dasselbe positive bzw. negative Potential anliegt.

Der Querschnitt der Elektroden ist gemäß Fig. 2 trapezförmig, derart, daß er in Strömungsrichtung zunimmt. Dadurch schmiegt sich die Katalysatormasse bei ihrer Strömung an den Elektroden 33 vorbei an deren Flachseiten an, so daß die Entstehung einer ggf. ionisationsfähigen Gas-, insbesondere O_2 Schicht an den Flachseiten der Elektroden vermieden wird. Auf eine gesonderte Inertgasumgebung kann aufgrund dieser Maßnahme verzichtet werden.

Die Elektroden 33 sind aus einem Material hergestellt, das nicht als Katalysatortgift wirkt, wie es z. B. bei Cu, Ni und Fe der Fall wäre. Bevorzugt wird als Elektrodenmaterial Keramik, SiC oder dergleichen verwendet, dessen elektrische Leitfähigkeit auch bei höheren Temperaturen von bis zu $900^\circ C$ stets größer ist als diejenige der zu beherrschenden Katalysatormasse. Außerdem ist der durch die Katalysatormasse verursachte Si-Abrieb an den Elektroden 33 für den Katalysator unschädlich.

Durch eine individuelle oder gruppenweise konstante oder auch pulsierende Ansteuerung der Elektroden 33 kann sowohl die Durchflußrate als auch die Dichteverteilung der Katalysatormasse über den Strömungsquerschnitt eingestellt oder verändert werden. So kann beispielsweise in den Randbereichen des elektrostatischen Ventils durch Ansteuerung nur jeder zweiten Plus- bzw. Minuselektrode 33 die Durchlässigkeit des elektrostatischen Ventils randseitig erhöht werden, wodurch ein zentraler Schüttkegel verhindert wird. Dadurch läßt sich ggf. eine Vergleichmäßigung der Strömung über

deren Querschnitt erreichen. Auch ist es denkbar, bei Bedarf die Randbereiche zu schließen und im Zentralbereich ein pulsierendes Feld zu erzeugen.

Vorzugsweise wird durch die Elektroden 33 ein pulsierendes elektrostatisches Feld erzeugt. Zu diesem Zweck ist an die Elektroden 33 ein Pulsator angeschlossen. Durch Aufbringen eines pulsierenden Feldes wird die Strömung der Katalysatormasse entsprechend pulsierend verzögert mit der Folge, daß eine Verdichtung der Katalysatormasse über dem elektrostatischen Ventil eintritt. Je nach Einstellung von Frequenz, Pulsbreite und/oder Amplitude des pulsierenden Feldes wird eine mehr oder weniger hohe und dichte Feststoffsäule erzeugt. Diese hindert vom Bereich 13 aufsteigende Gase bzw. Dämpfe, die trotz dicht fließender Katalysatormasse die Elektroden 33 erreichen konnten, daran, zum Regenerator 17 aufzusteigen.

Darüberhinaus wird durch das pulsierende Feld Luft und damit auch ionisationsfähiges O_2 , welches von der Katalysatormasse aus dem Sammelraum 18 mitgerissen wird, wieder zum Regenerator 17 zurückgepumpt.

Das pulsierende Feld kann, wie beschrieben, während des Betriebs angelegt werden; es wird aber insbesondere auch vor und beim Absperrvorgang angelegt, um in Schließ- bzw. Absperrstellung eine gasdichte Katalysatortpackung über dem elektrostatischen Ventil 31 oder 32 zu erhalten.

Eine zweite Ausführungsform des elektrostatischen Ventils 31 bzw. 32 ist in den Fig. 4 und 5 dargestellt. Die Anordnung der Elektroden zueinander entspricht derjenigen bei dem Ausführungsbeispiel gemäß den Fig. 1 und 2. Lediglich der Rahmen 34 ist anders gestaltet, nämlich als schmaler Ring. Darüberhinaus setzt sich der Rahmen 34 entsprechend Fig. 5 aus drei in Strömungsrichtung übereinander angeordneten Ringen zusammen. Der mittlere Ring, an dem die Elektroden 33 befestigt sind, besteht aus elektrisch isolierendem Material, insbesondere Keramik, während der obere bzw. untere Ring jeweils aus leitfähigem Material besteht. Der obere Ring ist an einen Minuspol, der untere Ring an einen Pluspol einer Gleichspannungsquelle angeschlossen. Dementsprechend bildet sich auch zwischen den beiden genannten Ringen ein elektrisches "Sperrfeld" aus. Da der ringförmige Rahmen 34 vorzugsweise Teil der Rohre 15 bzw. 22 ist, wird der Wirkungsquerschnitt der elektrostatischen Ventile 31, 32 auf ein Maximum vergrößert. Die stegförmigen Elektroden 33 selbst sind ähnlich wie die bei der Ausführungsform nach den Fig. 1 und 2 ausgebildet, wie insbesondere Fig. 5 erkennen läßt, so daß diesbezüglich auf die obige Beschreibung verwiesen werden kann.

Eine weitere Ausführungsform eines elektrostatischen Ventils 31 bzw. 32 ist in Fig. 6 gezeigt, wobei das elektrostatische Ventil zusammen mit einem mechanischen Absperrventil 29 bzw. 30 dargestellt ist.

Das elektrostatische Ventil 31 bzw. 32 besteht aus zwei Rahmen 38 und 39 mit rost- bzw. gitterartig angeordneten Elektroden 33 der oben beschriebenen Art, wobei die beiden Rahmen 38 und 39 in Strömungsrichtung voneinander beabstandet sind. Die Elektroden 33 sind sowohl innerhalb des oberen Rahmens 38 als auch innerhalb des unteren Rahmens 39 jeweils im Abstand voneinander und etwa parallel zueinander angeordnet. Im unteren Rahmen 38 sind die Elektroden 33 dichter gepackt als im oberen Rahmen 39 und jeweils an den Minuspol 36 einer Gleichspannungsquelle angeschlossen. Die Elektroden 33 des oberen Rahmens 39 sind, an den Pluspol 35 der Gleichspannungsquelle angeschlossen.

sen. In der abgebildeten Ausführungsform sind darüberhinaus die Elektroden des oberen Rahmens 38 in etwa parallel zu den Elektroden des unteren Rahmens 39 angeordnet. Es ist grundsätzlich auch möglich, daß die beiden Rahmen 38 bzw. 39 mit den gitterartig angeordneten Elektroden 33 jede beliebige relative Drehlage zueinander einnehmen, da die Feldlinien bei jeder Winkelposition der beiden Rahmen zueinander einen Winkel mit der Strömungsrichtung der Katalysatormasse bilden und somit eine Regelung des Strömungsdurchsatzes erlauben.

Bei dieser Ausführungsform wird ein Pulsator den Elektroden 33 des oberen Rahmens 38 des elektrostatischen Ventils zugeordnet, so daß sowohl ein statisches als auch ein pulsierendes elektrisches Gleichspannungsfeld zwischen den Elektroden 33 des oberen Rahmens 38 und den Elektroden 33 des unteren Rahmens 39 erzeugt werden kann. Die hochdichte Feststoffsäule aus Katalysatormaterial bildet sich bei pulsierendem Feld oberhalb des unteren Rahmens 39 des elektrostatischen Ventils.

Mit dieser Ausführungsform läßt sich ebenso wie bei den vorhergehenden Ausführungsformen die Durchflußrate und die Dichteverteilung quer zur Strömungsrichtung effizient regeln.

Der Abstand zwischen dem oberen Rahmen 38 und dem unteren Rahmen 39 des elektrostatischen Ventils 31 bzw. 32 sowie deren konkrete Ausbildung und Dimensionierung hängen von dem Durchmesser des Fallrohrs 15 bzw. der Schüttgutleitung 22 ab. Des weiteren hängen diese Größen vom Katalysator-Material bzw. dessen dielektrischer Natur ab. Das gleiche gilt für die anzulegende Spannung, insbesondere für die Sperrspannung.

Die Katalysatormasse und die Elektroden des elektrostatischen Ventils 31 bzw. 32 können beispielsweise wie folgt zusammengesetzt und charakterisiert sein:

1. Katalysatormasse

Chemische Zusammensetzung:

Al_2O_3 mit ca. 2% Re_2O_3 dotiert, 400—500 ppm Ni, insbesondere 450 ppm Ni und 800—900 ppm V, insbesondere 850 ppm V

Elektrischer Widerstand bei Raumtemperatur:
ca. 200 M Ω

Elektrischer Widerstand bei etwa 750°C:
ca. 300 k Ω

Dichte:
0,9—1,0 kg/m³, insbesondere 0,94 kg/m³

Oberfläche:
130—150 m²/g, insbesondere 140 m²/g

Verteilung der Partikelgröße:
70% bis 85% — ca. 80 μm
10% bis 20% — ca. 40 μm
1% bis 10% — ca. 20 μm

2. Elektroden

Material:
Keramik, SiC oder dergleichen

Spezifischer Widerstand bei Raumtemperatur:

1,5·10⁻² Ωm bis 4·10⁻² Ωm , insbesondere 2,5·10⁻² Ωm

Spezifischer Widerstand bei 750°C:
0,5·10⁻² Ωm bis 2·10⁻² Ωm , insbesondere 1·10⁻² Ωm

Angelegte Spannung bei Raumtemperatur:
4—6 kV

Angelegte Spannung bei 750°C:
ca. 4 kV

Das nachgeordnete mechanische Absperrventil 29 bzw. 30 wird nicht mehr zur Durchsatzregulierung der Katalysatormasse benötigt und nimmt in erster Linie die Funktion einer Sicherung ein.

Zusammenfassend kann also festgestellt werden, daß durch den Einsatz elektrostatischer Ventile erreicht wird:

- schnelle Ansprechzeit;
- ungestörter Schüttgutfluß;
- Drosselung des Schüttgutdurchsatzes der laminaren Strömung über dem gesamten Querschnitt auf minimale Geschwindigkeit (kleine Partikelgeschwindigkeit);
- lineare Durchsatzänderung;
- 100%ige Absperrung der Schüttgutleitungen auch bei hohen Temperaturen von bis zu 900°C;
- präzise Temperaturregelung im Reaktor;
- Vermeidung von Kohlenwasserstoff-Verlusten durch das Fallrohr des Regenerators.

Sämtliche in den Anmeldungsunterlagen offenbarten Merkmale werden als erfindungswesentlich beansprucht, soweit sie einzeln oder in Kombination gegenüber dem Stand der Technik neu sind.

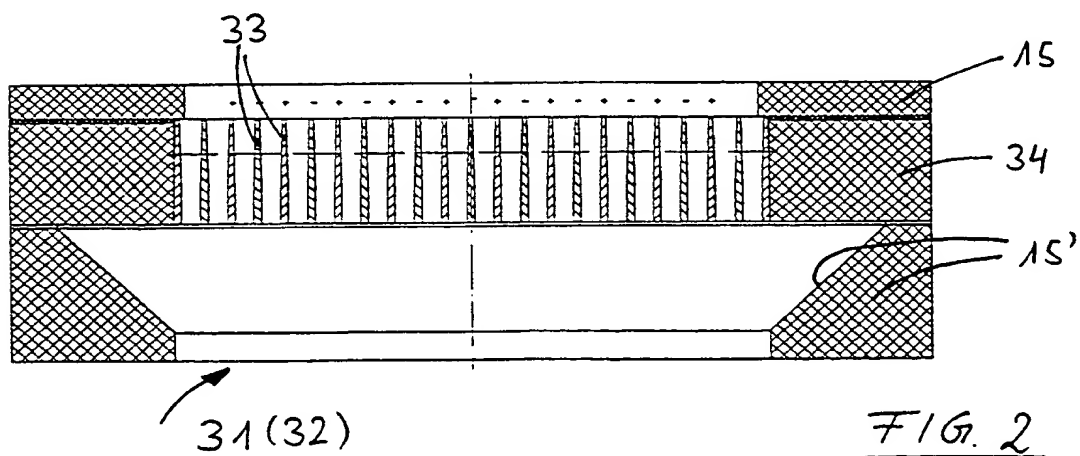
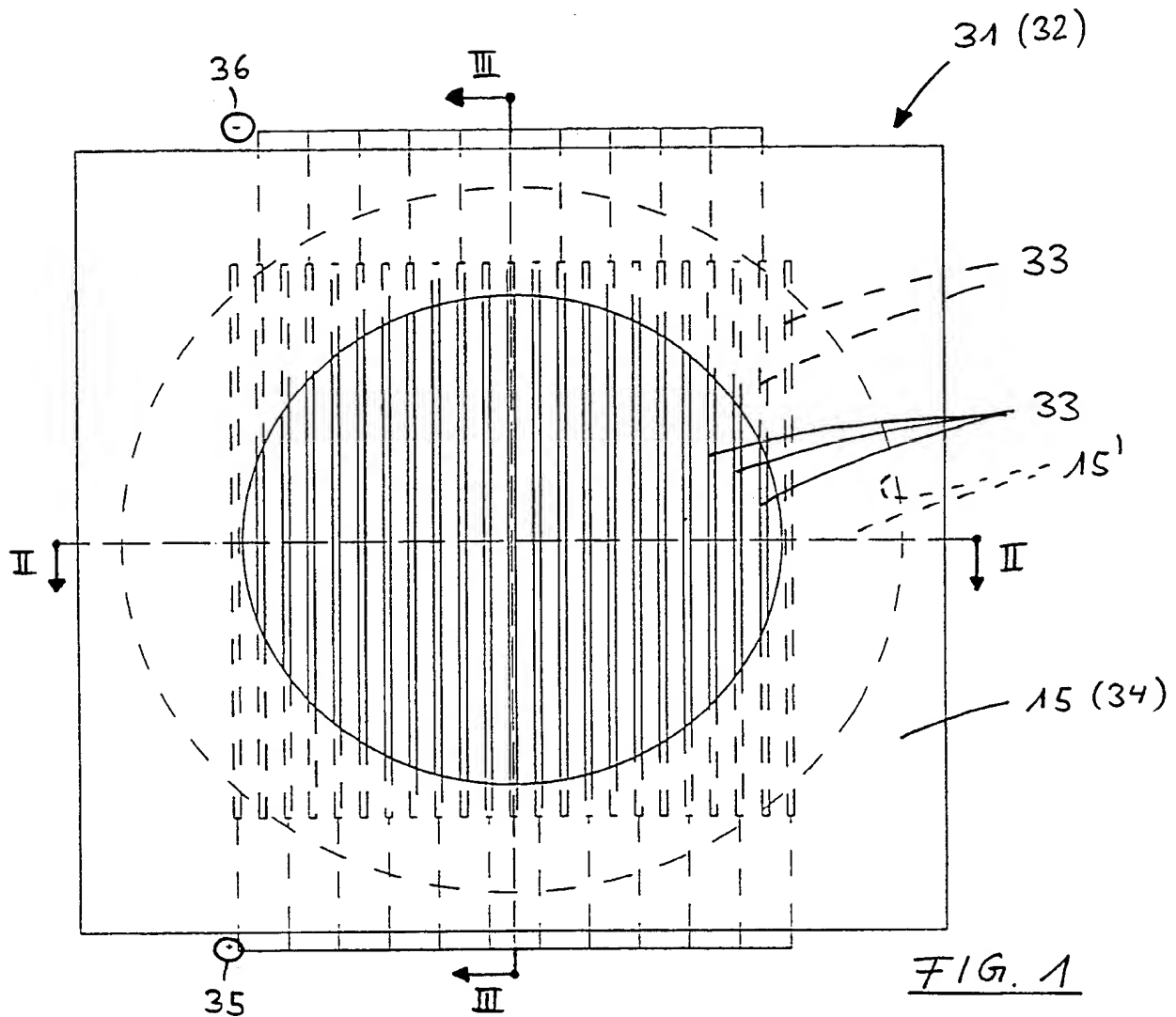
Patentansprüche

1. FCC (Fluid-Catalytic-Cracking)-Anlage mit einem Reaktor (16), einem mit diesem über eine Schüttgutleitung (22) verbundenen Regenerator (17) sowie einem im Verhältnis zum Regenerator tiefergelegenen Bereich (13) für die Zufuhr von zu crackenden Kohlenwasserstoffen (C_nH_m), wobei dieser Bereich über eine C_nH_m /Katalysator-Steigleitung (14) mit dem Reaktor (16) einerseits und über ein Absperrventil umfassendes Fallrohr (15) mit dem Bodenauslaß des Regenerators (17) zur Zufuhr von schüttgutartiger Katalysatormasse aus dem Regenerator (17) andererseits in Verbindung steht, **dadurch gekennzeichnet**, daß das im Fallrohr (15) angeordnete Absperrventil ein elektrostatisches Ventil (31) ist, welches wenigstens zwei im Abstand voneinander angeordnete Elektroden zur Erzeugung eines elektrischen Feldes im Strömungsweg des Schüttguts bzw. der Katalysatormasse aufweist, derart, daß der Schüttgutstrom durch Ausbildung eines mehr oder weniger starken elektrischen Feldes zwischen den beiden Elektroden an diesen vorbei entsprechend mehr oder weniger stark drosselbar und gegebenenfalls vollständig absperrbar ist, wobei zur Anwendung bei höheren Temperaturen die Elektroden aus einem Material hergestellt sind, deren elektrischer Widerstand auch bei höheren Temperaturen, insbesondere bis zu 700°C bis 900°C, stets kleiner ist als der elektrische Widerstand des Schüttguts bzw. der Katalysa-

Ventil (31, 32) herstellen läßt.

Hierzu 5 Seite(n) Zeichnungen

- tormasse.
2. Anlage nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß auch in der Schüttgutleitung (22) zwischen dem Reaktor (16) und dem Regenerator (17) ein elektrostatisches Absperrventil (32) angeordnet ist. 5
3. Anlage nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, daß dem elektrostatischen Ventil (31, 32) ein mechanisches Absperrventil (29, 30) nachgeordnet ist.
4. Anlage nach den obengenannten Ansprüchen 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, daß das elektrostatische Ventil (31, 32) innerhalb eines Rahmens (34) rost- bzw. gitterartig angeordnete Stab- oder Plat- 10 tenelektroden (33) aufweist.
5. Anlage nach den obengenannten Ansprüchen 1 bis 4, dadurch gekennzeichnet, daß die Elektroden (33) als etwa rechteck-, trapez-, kreissegment- oder dgl.-förmige Platten ausgebildet sind. 15
6. Anlage nach den obengenannten Ansprüchen 1 bis 5, dadurch gekennzeichnet, daß die Elektroden (33) individuell und/oder gruppenweise ansteuerbar sind, derart, daß benachbarte Elektroden (33) bzw. Elektrodengruppen identische oder unter- 20 schiedliche Spannungswerte aufweisen.
7. Anlage nach den obengenannten Ansprüchen 1 bis 6, dadurch gekennzeichnet, daß zwischen wenigstens einem stirnseitigen Ende der Elektrode (33) und einer dieses Ende aufnehmenden Ausnehmung (37) des Rahmens (34) ein Dehnungsspalt vorgesehen ist. 25 30
8. Anlage nach Anspruch 4 oder 7, dadurch gekennzeichnet, daß der Rahmen (34) in Form eines Ringflansches oder Rechteckflansches mit kreisförmiger Durchgangsöffnung ausgebildet ist, in der die Elektroden (33) angeordnet sind, und daß der- 35 art ausgebildete Rahmen aus Keramik besteht.
9. Anlage nach den obengenannten Ansprüchen 1 bis 8, dadurch gekennzeichnet, daß der Querschnitt jeder einzelnen Elektrode (33) in Schüttgut-Strömungsrichtung kontinuierlich zunimmt, insbeson- 40 dere unter Ausbildung eines keil- oder trapezförmigen Querschnittprofils.
10. Anlage nach den obengenannten Ansprüchen 1 bis 9, dadurch gekennzeichnet, daß die Elektroden (33) aus Keramik oder aus einem ähnlich katalysa- 45 torverträglichen Material, insbesondere auch Metall bzw. Metallegierungen bestehen.
11. Anlage nach den obengenannten Ansprüchen 1 bis 10, dadurch gekennzeichnet, daß den Elektroden (33) des elektrostatischen Ventils (31, 32) zu- 50 mindest gruppenweise ein Pulsator zur Ausbildung eines pulsierenden elektrischen Feldes zugeordnet ist, wobei mittels des Pulsators die Frequenz, Pulsbreite und/oder Amplitude einstellbar bzw. veränderbar sind. 55
12. Verfahren zur Steuerung der Strömung einer schüttgutartigen Katalysatormasse in einer FCC-Anlage durch ein Fallrohr (15), bzw. durch eine Schüttgutleitung (22) hindurch, in dem ein elektrostatisches Ventil (31, 32) nach einem oder mehreren 60 der Ansprüche 1 bis 11 angeordnet ist, dadurch gekennzeichnet, daß an die Elektroden (33) des elektrostatischen Ventils (31, 32) eine pulsierende Spannung angelegt wird, um zwischen allen oder einem Teil der Elektroden (33) ein entsprechend 65 pulsierendes elektrisches Feld aufzubauen, mittels dem sich eine mehr oder weniger starke Verdichtung des Schüttguts über dem elektrostatischen



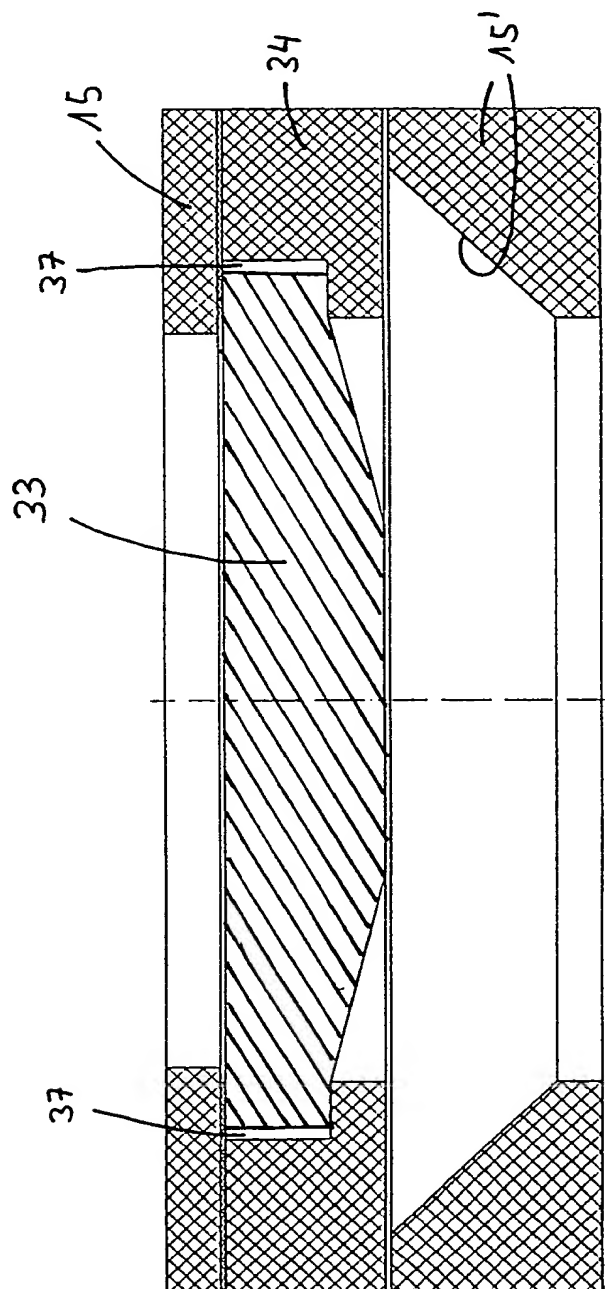


Fig. 3

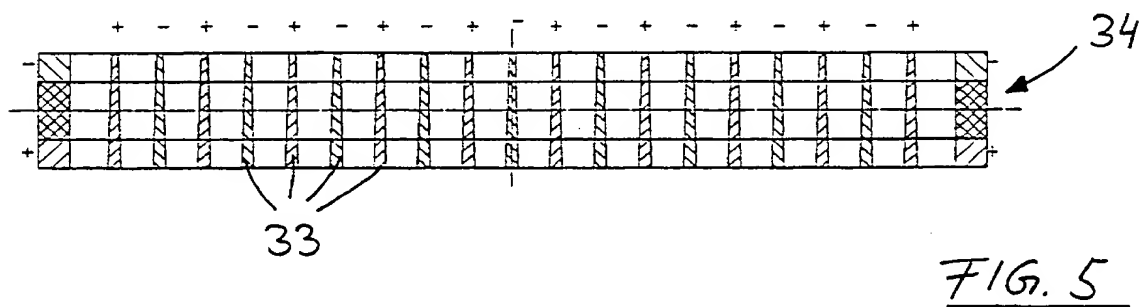
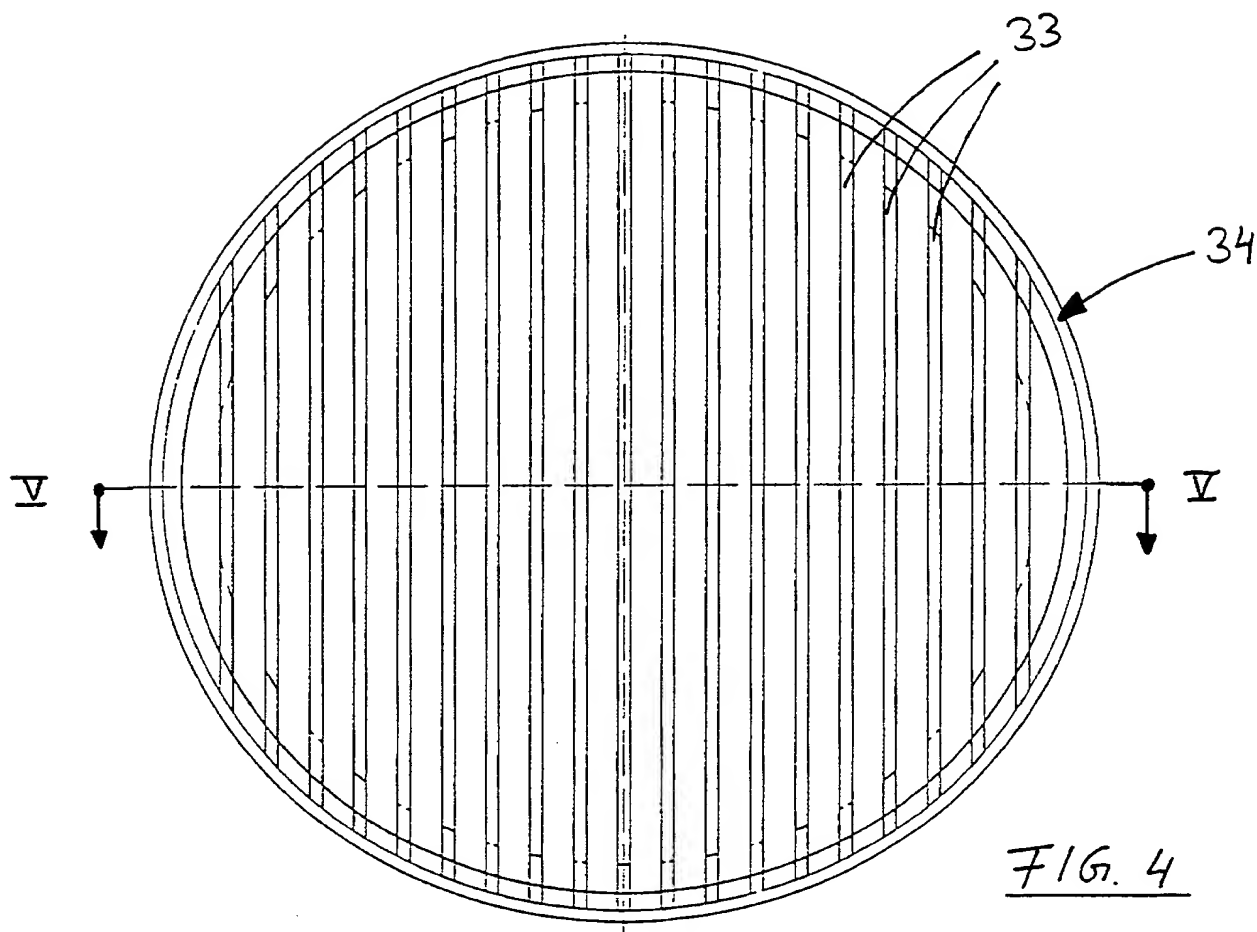
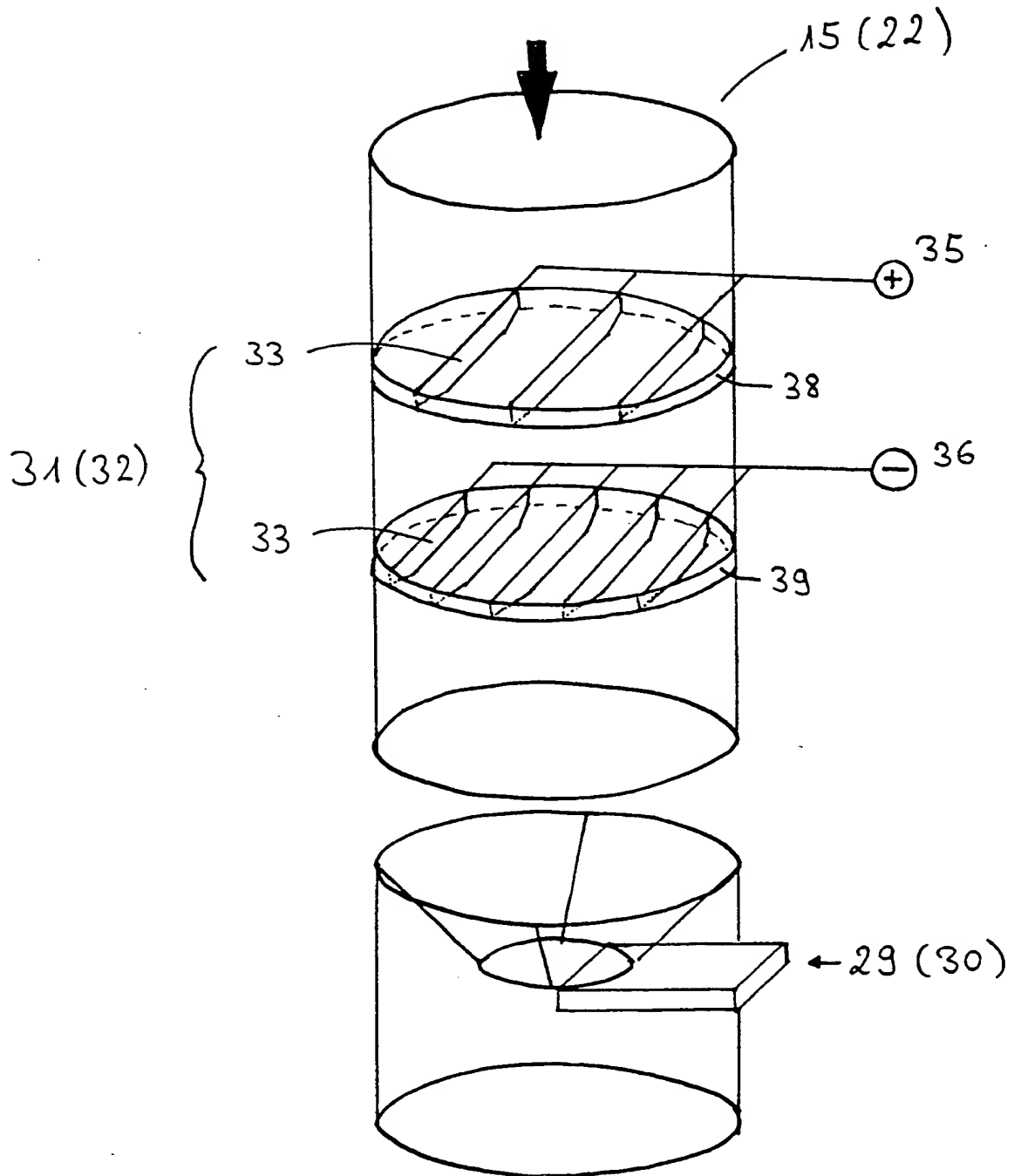


Fig. 6



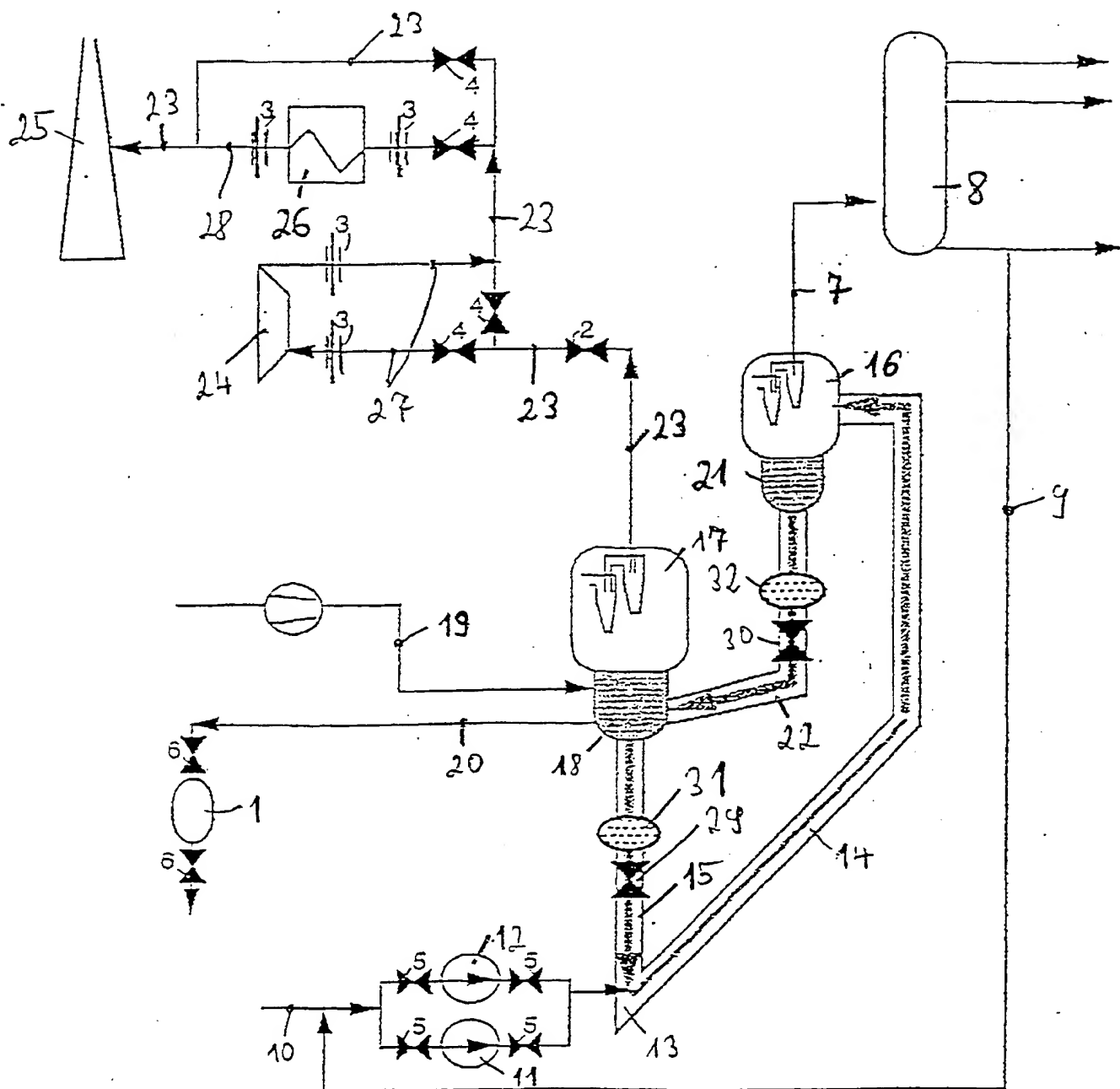


Fig. 7